饲料蛋白质水平对台湾泥鳅生长性能、形体指标和体成分的影响

曾本和[1,2] 王万良[1] 朱 龙[2] 陈美群[1] 刘海平[1] 张 弛[1] 牟振波[1] 朱成科[2] 向 枭[2] 周建设[1*]

（1.西藏自治区农牧科学院，水产科学研究所，拉萨 850002；2.西南大学荣昌校区水产系，淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室，水产科学重庆市市级重点实验室，重庆 402460）

摘 要：本试验旨在探索饲料蛋白质水平对台湾泥鳅幼鱼生长性能、形体指标及体成分的影响。选用初始体重为（8.57±0.35） g 的台湾泥鳅 720 尾，随机分成 4 组，每组 3 个重复，每个重复 60 尾鱼，投喂蛋白质水平分别为 25%、30%、35%和 40%的试验饲料，养殖时间为 60 d。结果表明：随着饲料蛋白质水平的增加，台湾泥鳅末重和增重率均呈先升高后趋于稳定的变化趋势，且均在饲料蛋白质水平为 35%时达到最大。饲料系数随着饲料蛋白质水平的升高呈先降低后趋于稳定的变化趋势，且在饲料蛋白质水平为 40%时最低。饲料蛋白质水平从 35%增加到 40%，末重、增重率和饲料系数无显著变化（$P>0.05$）。基于增重率和饲料系数的折线模拟结果表明，台湾泥鳅达到最大增重率的饲料蛋白质水平为 34.57%，饲料系数最低的饲料蛋白质水平为 35.47%。随着饲料蛋白质水平的升高，蛋白质效率、蛋白质沉积率和成活率均呈先升高后降低的变化趋势。通过二次多项式回归分析可知，台湾泥鳅蛋白质效率和蛋白质沉积率最高时的饲料蛋白质水平分别为 33.61%和 34.68%。随着饲料蛋白质水平的升高，台湾泥鳅脏体比和肝体比均呈先降低后趋于稳定的变化趋势，鱼体粗蛋白质含量呈先升高后趋于稳定的变化趋势，鱼体粗脂肪含量呈先降低后趋于稳定的变化趋势。结果提示，适量增加饲料蛋白质水平可提高鱼体生长速度，增加鱼体可食用部分比例，提高蛋白质效率和蛋白质沉积率，但饲料蛋白质水平过高，会降低蛋白质沉积率和蛋白质效率。在本试验条件下，综合考虑生长性能指标和蛋白质利用情况，台湾泥鳅适宜饲料蛋白质水平为 33.61%～35.47%。

关键词：台湾泥鳅；蛋白质水平；生长性能；形体指标；体成分

中图分类号：S963

收稿日期：2017-02-13

基金项目：西藏自治区自然科学基金（2016ZR-NK-15）

作者简介：曾本和（1989-），男，四川隆昌人，硕士研究生，从事水产动物营养与饲料研究。E-mail：675426776@qq.com

*通信作者：周建设，E-mail： zjianshe@163.com

水产动物饲料中，蛋白质是必需的核心营养物质，是相对最昂贵的原料，饲料蛋白质水平直接影响到饲料产品的价格和鱼类的生长。当饲料中蛋白质水平较低时，鱼类难以达到其最佳的生长速率[1]，同时还会影响成活率(survival rate，SR)[2]；当饲料中蛋白质水平过高时，鱼类会通过氧化脱氨基作用把过量的蛋白质分解代谢用于能量消耗，会产生较多的氨氮排泄物从而导致养殖水体污染加重，同时还会增加饲料成本，不利于鱼类的生长和生态的可持续发展[3-5]。为了保证良好的养殖经济效益，人工配合饲料中的蛋白质水平必须根据养殖鱼类的实际蛋白质需求来进行合理的设定。目前，学者已经确定了鳅科鱼类中泥鳅（*Misgurnus anguillicaudatus*）[6-7]对蛋白质的需求量。

台湾泥鳅（*Taiwan* loach）是我国台湾省改良的泥鳅新品种，隶属于鲤形目（Cypriniformes），鳅科（Cobitidae），花鳅亚科（Cobitinae），副泥鳅属（*Paramis gurnus*），其具体分类地位暂不明确[8-9]。台湾泥鳅具有生长快速、抗病力强、养殖密度高、有个体大、养殖周期短、容易捕捞等优势[10]，因此备受养殖户的欢迎和消费者青睐。近年来，台湾泥鳅引进大陆，已在各地推广养殖。2014 年在广东省台湾泥鳅养殖水面已达万亩（1 亩≈667 m^2）[11]。随着台湾泥鳅养殖规模括大，对配合饲料的质量要求也不断提高。目前有关台湾泥鳅的研究主要集中在人工繁殖[9,12]、早期发育[9]及形态学[13]上，有关台湾泥鳅对饲料主要营养物质需求量的研究尚未见报道，缺乏营养需求方面的研究资料。本试验旨在研究台湾泥鳅对饲料蛋白质的最适需求量，并探讨不同蛋白质水平饲料对台湾泥鳅生长性能、形体指标及体成分的影响，为台湾泥鳅人工配合饲料的科学配制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、豆粕、菜籽粕等为蛋白质源，以大豆油为脂肪源，玉米粉和次粉为糖源。设计出蛋白质水平分别为 25%、30%、35%、40%的 4 种等脂等能试验饲料。饲料原料经粉碎后过 60 目筛，按照配比称重并混合均匀后将粉料置于-4 ℃冰箱中保存备用。试验饲料组成及营养水平见表 1。

1.2 试验设计及饲养管理

试验台湾泥鳅购自荣昌祥光泥鳅养殖场，为同一批繁殖的幼鱼。购回后先用 3%的食盐

水消毒后于暂养池（暂养池尺寸 1.2 m×0.5 m×0.8 m）中暂养 7 d，选择健康、无伤病，体重为（8.57±0.35）g 的台湾泥鳅 720 尾，随机分为 4 个组，每组 3 个重复，每个重复 60 尾鱼，并分别放入 12 个水泥池中（1.2 m×0.5 m×0.8 m），分别投喂蛋白质水平不同的 4 种试验饲料，每天按试验鱼体重 3～5%表观饱食投喂 3 次（07: 00，12: 00，17: 00），投饵 1 h 后将残饵及粪便捞出烘干称重并记录，整个试验持续 60 d。养殖期间，每天于 17:00～19:00 用曝气后的自来水换水 1/3。每日监测水质、水温、试验鱼的死亡数量和摄食行为等。养殖期间水温 20.0～24.0 ℃，pH 7.0～7.5，溶氧 ≥6.0 mg/L。

表 1　基础饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　%

项目 Items	饲料蛋白质水平 Dietary protein level/%			
	25	30	35	40
原料 Ingredients				
玉米粉 Corn meal	35.20	22.20	11.80	0.10
次粉 Wheat middling	12.50	12.50	12.50	12.50
豆粕 Soybean meal	18.40	18.40	18.40	18.40
α-纤维素 α-cellulose	0.00	2.00	4.00	6.00
鱼粉 Fish meal	17.00	27.00	36.40	46.20
菜籽粕 Rapeseed meal	8.00	8.00	8.00	8.00
预混料 Premix[1)]	2.00	2.00	2.00	2.00
氯化胆碱 Choline chloride	1.00	1.00	1.00	1.00
食盐 NaCl	0.20	0.20	0.20	0.20
大豆油 Soybean oil	4.20	4.20	4.20	4.10
一水合磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$	1.50	1.50	1.50	1.50
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]				
粗蛋白质 CP	24.98	30.17	35.05	40.15
粗脂肪 EE	6.60	6.64	6.68	6.62
水分 Moisture	10.24	10.11	10.32	10.28
总能 Gross energy/(MJ/kg)	14.22	14.19	14.16	14.12
粗灰分 Ash	10.03	10.12	9.87	10.07

[1)]预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kilogram of diets:VA 30 000 IU,VC 200 mg,VD 325 000 IU,VE 600 mg,VK 100 mg,VB_1 50 mg,VB_2 60 mg,烟酸 nicotinic acid 100 mg,泛酸钙 calcium pantothenate 120 mg,VB_6 40 mg,VB_{12} 0.2mg,生物素 biotin 7 mg,叶酸 folic acid 20mg,肌醇 inositol 250 mg,$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 122.0 g,$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 7.20 g,$MnSO_4 \cdot H_2O$ 5.16 g,$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 15.56 g,KI 6.58 g,$NaSeO_3$ 2.10 g。

2) 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.3 样品采集及指标测定

试验结束后对试验鱼饥饿 24 h，然后对每组进行计数、称重。分别在各组中随机取 10 尾试验鱼用 50 mg/L 的 MS-222 溶液麻醉，测定体长和体质量后解剖取出内脏及肝胰脏，分别称重用于计算肝体比（hepaticsomatic index，HSI）及脏体比（viscerasomatic index，VSI）；另外从每组中随机取 5 尾鱼，保存于-20 ℃冰箱，用于测定体成分。

饲料及全鱼、肌肉及肝胰脏中水分、粗蛋白质、粗脂肪和粗灰分的含量测定参照 AOAC(1995)[14]的方法。粗蛋白质的含量采用凯氏定氮法测定；粗脂肪的含量采用索氏抽提法（乙醚为溶剂）测定；水分含量采用常压干燥法，在 105 ℃条件下将样品烘干至恒重而测定；粗灰分含量采用将样品电炉上碳化后，在 550 ℃马福炉中灼烧 12 h 后测定。

1.4 计算公式

增重率（weight gain rate，WGR，%）$=100\times(W_t-W_0)/W_0$；

饲料系数（feed conversion ratio，FCR）$=F/(W_t-W_0)$；

蛋白质沉积率（protein retention efficiency,PRE,%）$=100\times(W_t\times BP_2-W_0\times BP_1)/(F\times P)$；

蛋白质效率（protein efficiency ratio, PER）$=(W_t-W_0)/(F\times P)$；

成活率(%)$=100\times N_f/N_i$；

肥满度（condition factor，CF，g/cm^3）$=W_t/L^3$；

脏体比（%）$=100\times W_v/W_t$；

肝体比（%）$=100\times W_h/W_t$。

式中：W_0、W_t 分别为试验鱼的初始体质量和终末体质量（g）；F 为饲料摄入量（g）；BP_1、BP_2 分别为试验鱼初始体粗蛋白质含量和终末体粗蛋白质含量(%)；P 为饲料粗蛋白质含量（%）；N_f、N_i 分别为试验开始和结束时试验鱼的尾数；L 为体长（cm）；W_v、W_h 分别为试验鱼内脏团及肝脏的质量（g）。

1.5 数据统计

试验结果采用平均值±标准差（mean±SD）表示。采用 SPSS 19.0 统计软件中 one-way ANOVA 进行单因素方差分析，若差异显著，则采用 Duncan 氏法进行多重比较，差异显著水平为 $P<0.05$。

2 结果与分析

2.1 饲料蛋白质水平对台湾泥鳅生长性能的影响

饲料蛋白质水平对台湾泥鳅生长性能的影响见表 2。随着饲料蛋白质水平的增加，台湾泥鳅末重和增重率均呈先升高后趋于稳定的变化趋势，且均在饲料蛋白质水平为 35%时达到最大，分别为 31.22 g 和 259.87%。当饲料蛋白质水平从 35%增加到 40%，末重和增重率无显著变化（$P>0.05$）。蛋白质效率、蛋白质沉积率和成活率均呈先升高后降低的变化趋势，且均在饲料蛋白质水平为 35%时取得最大值，分别为 2.77、44.73%和 98.89%。饲料系数随着饲料蛋白质水平的升高呈先降低后趋于稳定的变化趋势，且在饲料蛋白质水平为 40%时最低，为 0.99。当饲料蛋白质水平从 35%增加到 40%，试验鱼饲料系数无显著变化（$P>0.05$）。基于增重率和饲料系数的折线模拟结果（图 1、图 2）表明，台湾泥鳅达到最大增重率的饲料蛋白质水平分别为 34.57%，饲料系数最低的饲料蛋白质水平为 35.47%。以二次曲线来拟合饲料蛋白质水平（X）与蛋白质效率（Y_1）和蛋白质沉积率（Y_2）的关系（图 3、图 4），得到回归方程方程：Y_1=-38X^2+25.54X-1.583（R^2=0.809 4），Y_2=-724X^2+502.12X-43.669（R^2=0.863 6），则蛋白质效率和蛋白质沉积率最高时饲料蛋白质水平分别为 33.61%和 34.68%。

表 2 饲料蛋白质水平对台湾泥鳅生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary protein levels on growth performance of *Taiwan* loach

指标 Parameters	饲料蛋白质水平 Dietary protein level/%			
	25	30	35	40
初重 Initial weight/g	8.59±0.20	8.31±0.50	8.67±0.12	8.70±0.35
末重 Final weight/g	19.94±0.46^{a}	24.07±0.31^{b}	31.22±0.99^{c}	30.65±1.96^{c}
增重率 WGR/%	132.04±1.13^{a}	190.08±14.82^{b}	259.87±7.50^{c}	252.38±15.24^{c}
饲料系数 FCR	1.63±0.01^{c}	1.29±0.03^{b}	1.03±0.04^{a}	0.99±0.02^{a}
蛋白质沉积率 PRE/%	37.06±0.27^{a}	40.46±0.93^{b}	44.73±1.51^{c}	40.89±0.90^{b}
蛋白质效率 PER	2.45±0.02^{a}	2.59±0.06^{b}	2.77±0.09^{c}	2.53±0.06^{ab}
成活率 SR/%	86.67±3.34^{a}	92.22±1.92^{b}	98.89±1.92^{c}	97.78±1.92^{c}

同行数据肩标相同小写字母或无字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same row, values with the same or no small letter superscripts mean no significant differences（P>0.05）, while with different small letter superscripts mean significant differences (P<0.05). The same as bellow.

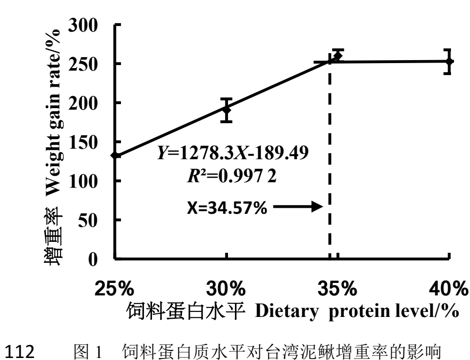


图 1　饲料蛋白质水平对台湾泥鳅增重率的影响

Fig.1　Effects of dietary protein level on WGR of *Taiwan* loach

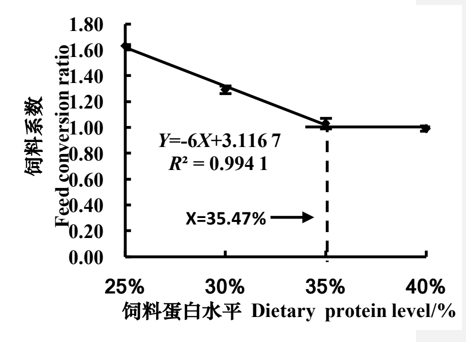


图 2　饲料蛋白质水平对台湾泥鳅饲料系数的影响

Fig.2　Effects of dietary protein level on FCR of *Taiwan* loach

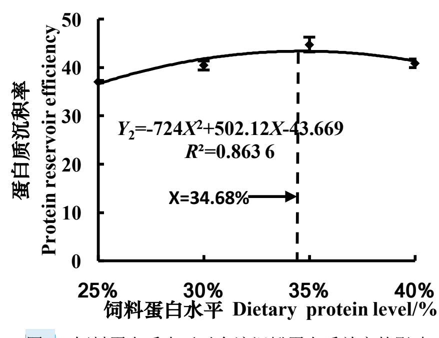


图 3　饲料蛋白质水平对台湾泥鳅蛋白质效率的影响

Fig.3　Effects of dietary protein level on PRE of *Taiwan* loach

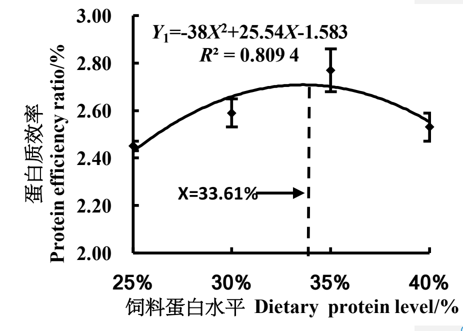


图 4　饲料蛋白质水平对台湾泥鳅蛋白质沉积率的影响

Fig.4　Effects of dietary protein level on PER of *Taiwan* loach

批注 [W1]: 排版时将 3 和 4 的图调换

2.2 饲料蛋白质水平对台湾泥鳅形体指标的影响

饲料蛋白质水平对台湾泥鳅形体指标的影响见表 3。随着饲料蛋白质水平的升高，台湾泥鳅脏体比和肝体比均呈先降低后趋于稳定的变化趋势。脏体比在饲料蛋白质水平为 40%时最低，为 6.50%；肝体比在饲料蛋白质水平为 35%时最低，为 2.54%。饲料蛋白质水平从 35%增加到 40%，脏体比和肝体比无显著变化（P＞0.05）。各组肥满度差异不显著（P＞0.05）。

表 3　饲料蛋白质水平对台湾泥鳅形体指标的影响

Tab.3　Effect of dietary bile acids levels on morphometrical parameters of *Taiwan* loach

指标 Parameters	饲料蛋白质水平 Dietary protein level/%			
	25	30	35	40
肥满度 CF/（g/cm^3）	0.80±0.07	0.76±0.07	0.79±0.04	0.77±0.07
脏体比 VSI/%	7.44±0.12^{c}	7.05±0.12^{b}	6.51±0.06^{a}	6.50±0.13^{a}

肝体比 HSI/%	3.15±0.08[c]	2.83±0.06[b]	2.54±0.07[a]	2.55±0.04[a]

2.3 饲料蛋白质水平对台湾泥鳅体成分的影响

饲料蛋白质水平对台湾泥鳅体成分的影响见表 4。随着饲料蛋白质水平的升高台湾泥鳅粗蛋白质含量呈先升高后趋于稳定的变化趋势，且在饲料蛋白质水平为 35%时达到最高，为 16.15%；体粗脂肪含量随饲料蛋白质水平的升高呈先降低后趋于稳定的变化趋势，且在蛋白质水平为 40%时达到最低，为 4.50%。饲料蛋白质水平从 35%增加到 40%，台湾泥鳅粗蛋白质和粗脂肪含量无显著变化（P＞0.05）。随着饲料蛋白质水平的升高，各试验组鱼体水分和粗灰分含量无显著变化（P＞0.05）。

表 4 饲料蛋白质水平对台湾泥鳅体成分的影响

Table 4 Effects of dietary protein level on body composition of *Taiwan* loach %

指标 Parameters	饲料蛋白质水平 Dietary protein level/%			
	25	30	35	40
粗蛋白质 Crude protein	15.13±0.21[a]	15.61±0.10[b]	16.15±0.17[c]	16.14±0.13[c]
粗脂肪 Crude lipid	5.61±0.33[c]	5.13±0.18[b]	4.63±0.17[a]	4.50±0.12[a]
水分 Moisture	76.37±0.57	76.17±0.79	75.77±0.29	75.83±0.33
粗灰分 Crude ash	2.84±0.24	2.95±0.18	2.95±0.14	2.83±0.14

3 讨 论

3.1 饲料蛋白质水平对台湾泥鳅生长性能的影响

饲料蛋白质水平是影响鱼类生长的关键因素。增加蛋白质水平通常可以改善鱼类的生长，但过量的蛋白质会通过脱氨基作用作为能源消耗掉，由于目前蛋白质源价格较为昂贵，这就大大提高了饲料的成本[15]。在本试验中台湾泥鳅末重、增重率、蛋白质沉积率和蛋白质效率均与饲料蛋白质有较强的相关性；随饲料蛋白质水平的升高，试验鱼末重和增重率均在呈先升高后趋于稳定的变化趋势，当饲料蛋白质水平继续升高至 40%，二者变化不大。李彬等[16]对草鱼（*Ctenopharyngodon idellus*）的研究也发现，过高的饲料蛋白质水平不会完全用于鱼体生长。其原因可能是：第一，蛋白质是鱼体重要组成部分，适量增加饲料蛋白质能满足鱼体的营养需求，可促进鱼体生长，当饲料蛋白质水平达到鱼体所需最大值后，多余的蛋白质便作为能量被分解消耗。第二，由于本试验饲料是等能饲料，高蛋白质水平组饲料非蛋白质能较少，因此在高蛋白质水平组中大量蛋白质作为能源被消耗[17]，因此不会再有促生长作用。Salhi 等[18]对克林雷氏鲶（*Rhamdia quelen*）、Chen 等[19]对草鱼研究也均有类似发现。但 Papaparaskeva-Papoutsoglou 等[20]对鲻鱼（*Mugil capito*）、Tibbetts 等[21]对美洲鳗（*Anguilla*

rostrata）、Chou 等[22]对军曹鱼（*Rachycentron canadum*）的研究均发现饲料蛋白质水平超过一定水平后，会降低鱼的生长性能，这与本试验结果存在一定差异。这可能与鱼的种类、规格、饲料能量水平等有关。可见，在一定范围内增加饲料蛋白质水平可促进鱼体生长，降低饲料系数；但当饲料蛋白质超过一定水平时，其蛋白质沉积率和蛋白质效率降低，同时蛋白质在分解代谢过程中会产生大量的氨氮代谢产物，污染水体，并且由于蛋白质原料价格昂贵，导致饲料成本增加。

本试验通过对增重率和饲料系数与饲料蛋白质的折线模型以及蛋白质沉积率和蛋白质效率的二次回归得出，平均体重为 8.57 g 的台湾泥鳅最佳蛋白质水平为 33.61%～35.47%。叶文娟等[6]对平均体重为 1.72 g 泥鳅研究发现，其最适生长的饲料蛋白质水平为 45.5%。沈斌乾等[7]用不同蛋白质水平饲料饲养 4.7 g 的泥鳅 8 周后发现，其饲料中最佳蛋白质水平为 39.55%。本试验得出的台湾泥鳅最佳饲料蛋白质水平显著低于叶文娟等[6]和沈斌乾等[7]得出的泥鳅饲料最佳蛋白质水平，这可能与鱼的种类、规格和养殖水温有关。李彬等[16]对草鱼研究发现，随着鱼体的生长，其蛋白质需求量逐渐降低。Chen 等[23]研究表明 1.5 g 左右的石斑鱼（*Epinephelus malabaricus*）的适宜的饲料蛋白质水平为 54%，而 20～30 g 时则为 40%～50%。有关研究表明，鱼类蛋白质需求量随水温升高而增加。在水温分别为 22～26 ℃和 26～33 ℃时，拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)的蛋白质需求量分别为 35%和 44%[24]。

本试验中折线模拟结果表明台湾泥鳅生长速度最快、饲料系数最低的饲料蛋白质水平为 34.57%～35.47%;通过二次回归结果表明，台湾泥鳅蛋白质沉积率及蛋白质效率最高时饲料蛋白质水平分别为 33.61%～34.68%，二者存在交叉，说明适量的饲料蛋白质不但能提高鱼体生长性能，还能提高蛋白质沉积率，提高鱼体粗蛋白质含量。

3.2 饲料蛋白质水平对台湾泥鳅形体指标的影响

在本试验中，随着饲料蛋白质水平的升高，台湾泥鳅脏体比和肝体比呈降低趋势。丁立云等[25]对星斑川鲽幼鱼研究表明，肝体比和脏体比随着饲料蛋白质水平的增加呈现下降的趋势，与本试验结果一致。鱼类在摄食较低水平的饲料蛋白质时，摄进了较高水平的碳水化合物，使鱼类某些组织的脂肪合成酶的活性提高，促进了糖源转变为脂肪，并转运贮存于肝脏、腹腔内的脂肪组织等部位[26-27]，从而增加内脏团和肝脏重量。但邱金海等[28]对黄姑鱼（*Nibea albiflora*）、杨弘等[29]对尼罗罗非鱼（*Oreochromis niloticus*）幼鱼研究均发现饲料蛋

白质水平对鱼体肝体比和脏体比无显著影响，与本试验结果存在差异，这可能与鱼的种类、饲料营养成分等有关，具体原因有待进一步研究。本试验结果表明，台湾泥鳅摄食高蛋白质饲料后，可降低内脏团和肝脏比例，增加鱼体可食用部分比例。

3.3　饲料蛋白质水平对台湾泥鳅体成分的影响

大部分研究发现，随着饲料蛋白质水平的提高，鱼体粗蛋白质水平逐渐增加，鱼体粗脂肪含量逐渐降低[22，30-31]。田娟等[32]对草鱼、陈壮等[33]对鲈鱼（*Lateolabrax japonicus*）的研究均发现，全鱼粗蛋白质含量随着饲料蛋白质水平的升高而显著升高。陈建明等[34]对青鱼（*Mylopharngodon piceus*）的研究发现，在摄食低蛋白质水平饲料后，全鱼粗脂肪含量较高。本试验中，随着饲料蛋白质水平的升高，台湾泥鳅全鱼粗蛋白质含量呈先升高后趋于稳定的变化趋势，粗脂肪呈先降低后趋于稳定的变化趋势，与上述研究结果基本一致。随着饲料中蛋白质水平的提高，鱼体对饲料蛋白质的摄入量也逐渐提高，更多摄入并消化吸收的蛋白质可作为鱼体的构建蛋白质，用于鱼体的组织修复和新的组织形成[35]；马国军等[36]对乌苏里拟鲿（*Pseudobagrus ussuriensis*）研究发现饲料蛋白质水平较低时，饲料的能量蛋白质比较高，鱼体摄食能量蛋白质比较高的饲料会提高肝脏中脂肪合成酶的活性，使未被分解代谢作为能源的糖类在肝细胞内转变为脂肪，并通过血液循环等转运到肝外贮存，促进了脂肪的沉积。因此适量增加饲料蛋白质水平能提高鱼体粗蛋白质含量，降低鱼体粗脂肪含量。

4　结　论

①蛋白质是鱼体重要组成部分，适量增加饲料蛋白质可满足鱼体的营养需求，促进鱼体生长，可降低鱼体脏体比，增加鱼体可食用部分，可增加鱼体对饲料蛋白质的摄入量，摄入并消化吸收的蛋白质可作为鱼体的构件蛋白质，从而提高蛋白质沉积率，提高鱼体粗蛋白质含量。

②饲料蛋白质水平过高，会降低蛋白质沉积率和蛋白质效率。

③在本试验条件下，综合考虑生长性能指标和蛋白质利用情况，台湾泥鳅适宜饲料蛋白质水平为33.61%～35.47%。

参考文献：

[1] ABDEL-TAWWAB M,AHMAD M H,KHATTAB Y A E,et al.Effect of dietary protein level,initial body weight,and their interaction on the growth,feed utilization,and physiological

alterations of Nile tilapia,*Oreochromis niloticus* (L.)[J].Aquaculture,2010,298(3/4):267–274.

[2] EGUIA R V,KAMARUDIN M S,SANTIAGO C B.Growth and survival of river catfish *Mystus nemurus* (Cuvier & Valenciennes) larvae fed isocaloric diets with different protein levels during weaning[J].Journal of Applied Ichthyology,2000,16(3):104–109.

[3] ENGIN K,CARTER C G.Ammonia and urea excretion rates of juvenile Australian short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level[J].Aquaculture,2001,194(1/2):123–136.

[4] YANG S D,LIOU C H,LIU F G.Effects of dietary protein level on growth performance,carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*)[J].Aquaculture,2002,213(1/2/3/4):363–372.

[5] SUN L H,CHEN H R,HUANG L M.Growth,faecal production,nitrogenous excretion and energy budget of juvenile yellow grouper (*Epinephelus awoara*) relative to ration level[J].Aquaculture,2007,264(1/2/3/4):228–235.

[6] 叶文娟,韩冬,朱晓鸣,等.饲料蛋白水平对泥鳅幼鱼生长和饲料利用的影响[J].水生生物学报,2014,38(3):571–575.

[7] 沈斌乾,陈建明,王岩,等.饲料中蛋白水平对泥鳅生长和体组成的影响[J].浙江海洋学院学报:自然科学版,2014,33(3):240–243.

[8] 戴璐怡.大鳞副泥鳅和台湾泥鳅的形态学研究和线粒体基因组全序列分析[D].硕士学位论文.舟山:浙江海洋学院,2015.

[9] 邱楚雯,王韩信,陈迪虎,等.台湾泥鳅人工繁殖及早期发育的研究[J].水产科技情报,2014,41(6):284–289.

[10] 陈石娟.台湾泥鳅火了![J].海洋与渔业,2014(1):30–32.

[11] 当代水产[J].当代水产,2014(11):18.

[12] 李倩,茹金根,刘士力,等.“台湾泥鳅”人工繁殖试验[J].河北渔业,2014(9):43–46.

[13] 黄涛,赵波,Diakhate B,等.舟山群岛大鳞副泥鳅与台湾泥鳅的形态差异性分析[J].水生态学杂志,2016,37(2):83–87.

[14] HORWITZ W.Official methods of analysis of AOAC International[M].16th ed.Gaithersburg,

MD:Association of Analytical Communities,1995:1094.

[15] KHAN M S,ANG K J,AMBAK M A,et al.Optimum dietary protein requirement of a Malaysian freshwater catfish,*Mystus nemurus*[J].Aquaculture,1993,112(2/3):227–235.

[16] 李彬,梁旭方,刘立维,等.饲料蛋白质水平对大规格草鱼生长、饲料利用和氮代谢相关酶活性的影响[J].水生生物学报,2014,38(2):233–240.

[17] 王胜.草鱼幼鱼蛋白质和主要必需氨基酸需求的研究[D].博士学位论文.广州:中山大学,2006.

[18] SALHI M,BESSONART M,CHEDIAK G,et al.Growth,feed utilization and body composition of black catfish,*Rhamdia quelen*,fry fed diets containing different protein and energy levels[J].Aquaculture,2004,231(1/2/3/4):435–444.

[19] CHEN Y J,TIAN L X,YANG H J,et al.Effect of protein and starch level in practical extruded diets on growth,feed utilization,body composition,and hepatic transaminases of juvenile grass carp,*Ctenopharyngodon idella*[J].Journal of the World Aquaculture Society,2012,43(2):187–197.

[20] PAPAPARASKEVA-PAPOUTSOGLOU E,ALEXIS M N.Protein requirements of young grey mullet,*Mugil capito*[J].Aquaculture,1986,52(2):105–115.

[21] TIBBETTS S M,LALL S P,ANDERSON D M.Dietary protein requirement of juvenile American eel (*Anguilla rostrata*) fed practical diets[J].Aquaculture,2000,186(1/2):145–155.

[22] CHOU R L,SU M S,CHEN H Y.Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*)[J].Aquaculture,2001,193(1/2):81–89.

[23] CHEN H Y,TSAI J C.Optimal dietary protein level for the growth of juvenile grouper,*Epinephelus malabaricus*,fed semipurified diets[J].Aquaculture,1994,119(2/3):265–271.

[24] DANIELS W H,ROBINSON E H.Protein and energy requirements of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*)[J].Aquaculture,1986,53(3/4):243–252.

[25] 丁立云,张利民,王际英,等.饲料蛋白质水平对星斑川鲽幼鱼生长、体组成及血浆生化指标的影响[J].中国水产科学,2010,17(6):1285–1292.

[26] MOHANTY S S,SAMANTARAY K.Effect of varying levels of dietary protein on the growth performance and feed conversion efficiency of snakehead *Channa striata fry*[J].Aquaculture Nutrition,1996,2(2):89–94.

[27] YANG S D,LIN T S,LIOU C H,et al.Influence of dietary protein levels on growth performance,carcass composition and liver lipid classes of juvenile *Spinibarbus hollandi* (Oshima)[J].Aquaculture Research,2003,34(8):661–666.

[28] 邱金海,杨清山,林星.饲料中不同的蛋白质水平对黄姑鱼生长性能的影响[J].现代农业科技,2016(8):235–237.

[29] 杨弘,徐起群,乐贻荣,等.饲料蛋白质水平对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能、体组成、血液学指标和肝脏非特异性免疫指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(12):2384–2392.

[30] KIM S S,LEE K J.Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*)[J].Aquaculture,2009,287(1/2):219–222.

[31] LEE S M,KIM K D,PARK H G,*et al*.Protein requirement of juvenile Manchurian trout *Brachymystax lenok*[J].Fisheries Science,2001,67(1):46–51.

[32] 田娟,高攀,蒋明,等.饲料蛋白能量比对草鱼幼鱼生长性能、蛋白利用和体成分的影响[J].淡水渔业,2016,46(4):83–90.

[33] 陈壮,梁萌青,郑珂珂,等.饲料蛋白水平对鲈鱼生长、体组成及蛋白酶活力的影响[J].渔业科学进展,2014,35(2):51–59.

[34] 陈建明,沈斌乾,潘茜,等.饲料蛋白和脂肪水平对青鱼大规格鱼种生长和体组成的影响[J].水生生物学报,2014,38(4):699–705.

[35] PAGE J W,ANDREWS J W.Interactions of dietary levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J].The Journal of Nutrition,1973,103(9):1339–1346.

[36] 马国军,王裕玉,石野,等.乌苏里拟鲿稚鱼饲料中蛋白质的适宜水平[J].动物营养学报,2012,24(1):176–182.

Effects of Dietary Protein Level on Growth Performance, Physical Indices and Body Composition of *Taiwan* Loach

ZENG Benhe[1,2] WANG Wanliang[1] ZHU Long[2] CHEN Meiqun[1] LIU Haiping[1] ZHANG Chi[1] MOU Zhenbo[1] ZHU Chengke[2] XIANG Xiao[2] ZHOU Jianshe[1*]

(1. *Institute of Fisheries Science*, *Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences*, *Lhasa* 850002, *China*; 2. *Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development*, *Ministry of Education*, *Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing*, *Department of Fisheries, Rongchang Compust*, *Southwest University*, *Chongqing* 402460, *China*)

Abstract: This experiment was aimed to investigate the effects of dietary protein level on growth performance, physical indices and body composition of *Taiwan* loach. A total of 720 fish with an initial body weight of (8.57±0.35) g were divided into 4 groups with 3 replicates per group and 60 fish per replicate. Four experimental diets were formulated by containing 25%, 30%, 35% and 40% protein levels, respectively. Each diet was fed to one group for 60 d. The results showed as follows: the final weight (FW) and weight gain rate (WGR) of *Taiwan* loach were initially increased and then tended to stabilize with the increase of dietary protein level. Both of FW and WGR reached the highest values when dietary protein level was 35%. The feed conversion ratio (FCR) was initially decreased and then tended to stabilize with the increase of dietary protein level, and the minimum value was obtained when dietary protein level was 40%. When dietary protein level raised from 35% to 40%, FW, WGR and FCR were not significantly changed （$P>0.05$）. The broken line simulation results of WGR and FCR showed that the *Taiwan* loach had the highest growth rate when dietary protein level was 34.57%, and had lowest FCR when dietary protein level was 35.47%. With the increase of dietary protein level, all of protein efficiency ratio (PER), protein retention efficiency (PRE) and survival rate (SR) increased at first and then decreased. By quadratic polynomial regression analysis, dietary protein level was 33.6% and 34.68%, respectively, when the *Taiwan* loach had the highest PER and PRE. With the increase of dietary protein level, both of viscerasomatic index (VSI) and hepaticsomatic index (HSI) were initially decreased and then tended to stabilize. Crude protein content of whole body was initially increased and then tended to stabilize with the increase of dietary protein level, while crude lipid content of whole body was initially decreased and then tended to stabilize. The results indicate that appropriately

*Corresponding author, E-mail: zjianshe@163.com （责任编辑　王智航）

increase of dietary protein level can improve fish growth rate, and increase edible part content of fish, improve the PRE and PER. But it can decrease PER and PRE when dietary protein level is too high. Under the conditions in the present experiment, the suitable dietary protein level is 34.57% to 35.47 based on comprehensive analysis of growth performance and protein utilization.

Key words: *Taiwan* loach; protein level; growth performance; physical indices; body composition